

Foto: Fayene Zeferino Ribeiro



## Avaliação da Qualidade Interna de Banana por RMN em Baixa Resolução

Fayene Zeferino Ribeiro<sup>1</sup>  
Luiz Alberto Colnago<sup>2</sup>,  
Lucinéia Vizzotto<sup>3</sup>

A seleção de frutas para o processamento industrial ou para consumo *in natura* é realizada principalmente pelos aspectos externos, tais como cor, defeitos, tamanho e formato. A qualidade interna das frutas tem sido menos utilizada uma vez que os métodos usados necessitam de instrumentação mais avançada, do que apenas filmadoras.

Dentre os métodos não invasivos que tem sido estudados para a medida da qualidade interna de frutas está a ressonância magnética nuclear (RMN) vem se destacando principalmente com o uso da tomografia (TORMN). A TORMN vem sendo usada para medida de distúrbios fisiológicos, danos por pragas e doenças e danos mecânicos. Apesar do grande potencial, a TORMN ainda não tem sido adotada pela agroindústria pelo alto custo e velocidade das análises. Assim, estamos avaliando o uso de relaxometria de RMN ( $T_1$  e  $T_2$ ) em um espectrômetro de baixa resolução, como um método rápido e não destrutivo para a análise da qualidade interna de frutas. Neste trabalho será apresentado os resultados com banana ouro.

Os experimentos de RMN foram realizados em um ímã de 2T, de 30 cm de Bore, um espectrômetro Apollo (Tecmag) e amplificador de potência 2035 AMT. As medidas de  $T_2$  foram realizadas com a técnica CPMG. As constantes de tempo foram obtidas com método de mínimos quadrados e pela Transformada Inversa de Laplace (ILT).

O primeiro fator analisado foi à influência do grau de maturação no tempo de relaxação. A Figura 1 apresenta

as curvas de decaimento de  $T_2$  obtidas com a técnica CPMG para uma mesma banana analisada no 1º, 5º e 8º dias após a colheita. No primeiro dia a banana já estava parcialmente amarelada. Na figura 1 observa-se que o decaimento do sinal fica mais longo com o amadurecimento da banana, indicando um aumento do tempo de relaxação com o tempo de maturação. Esse efeito pode ser melhor acompanhado com o processamento com a ILT (Fig. 2).

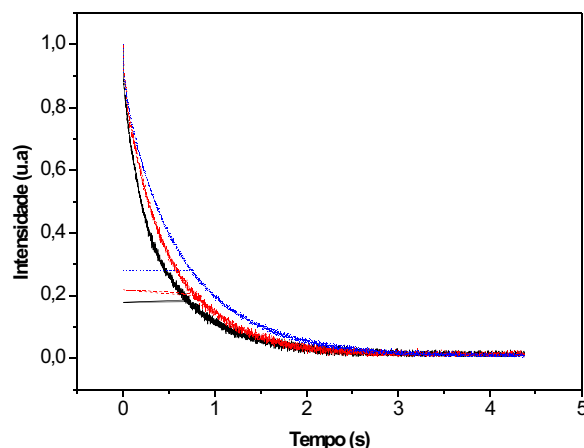


Fig. 1 - Curvas de decaimento exponencial realizada com a técnica de CPMG para a amostra de banana no estágio inicial de maturação (1º dia preto) e no 5º dia (vermelho) e 8º dia (azul).

<sup>1</sup>Bacharel em Química, Instituto de Química de São Carlos-USP, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, SP. fayene@cnpdia.embrapa.br

<sup>2</sup>Farmacêutico, Dr., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, 13560-970. colnago@cnpdia.embrapa.br

<sup>3</sup>Química, Dra., Bolsista DTI, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, 13560-970. vizzotto@cnpdia.embrapa.br

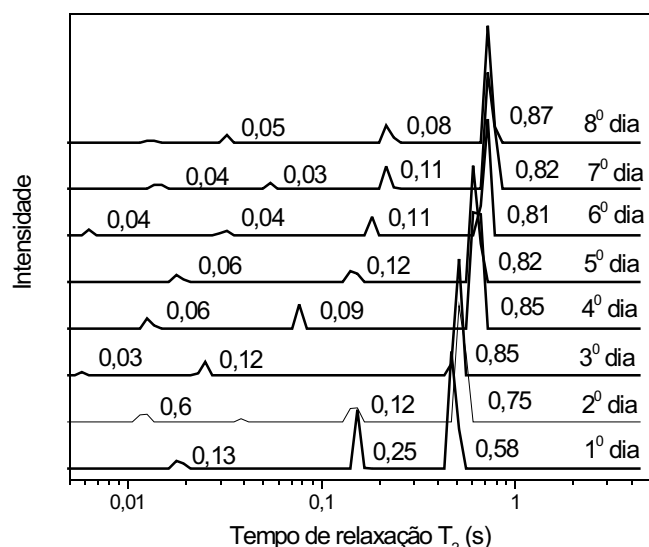


Fig. 2 - Relaxograma dos dados de CPMG obtidos de bananas ouro em função do tempo de maturação. Os espectros foram obtidos com a transformada inversa de Laplace

Para explicar os três sinais do relaxograma Raffo et al. (2005), propuseram que as águas nas células de banana estão em três compartimentos (Fig. 3), o vacúolo, o citoplasma e a parede celular. No vacúolo, que ocupa a maior parte da célula, fica a água com maior  $T_2$ ; No citoplasma, onde estão as diversas organelas e as macromoléculas como proteínas e carboidrato como o amido, tem  $T_2$  pouco menor do que do vacúolo. Na parede celular, a água está fortemente ligada e tem o menor valor de  $T_2$  de todos os compartimentos.

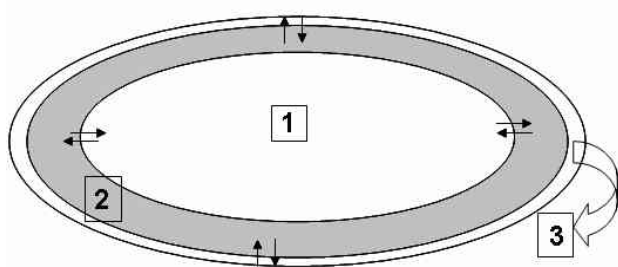


Fig. 3 - Esquema de uma célula com os compartimentos: (1) vacúolo, (2) citoplasma, (3) parede celular.

Na Figura 4 está o gráfico de variação do tempo de relaxação para bananas (média de 3 bananas) em diferentes estágios de maturação.

Além disso, foram feitas medidas do efeito de injúrias mecânicas e por baixas temperaturas.

A Figura 5 ilustra o efeito da compressão (amassamento) no espectro de relaxação de seis bananas ouro, em função do tempo. (até 2 horas). A Figura 5A é da banana antes do amassamento; B, recém amassada (1 a 5 minutos após a compressão) e C e D, após 1h e 2 horas respectivamente. Nestas figuras pode-se ver os três picos correspondentes ao vacúolo, ao citoplasma e à parede celular (RAFFO et al., 2005).

Observa-se que tempos dos dois componentes mais longo ficaram praticamente constante e aumentou como tempo para o componente com menor valor de  $T_2$ ,

mesmo após 2 horas do dano. No caso das áreas observou-se uma redução da área do componente com  $T_2$  mais longo e aumento dos outros dois componentes.

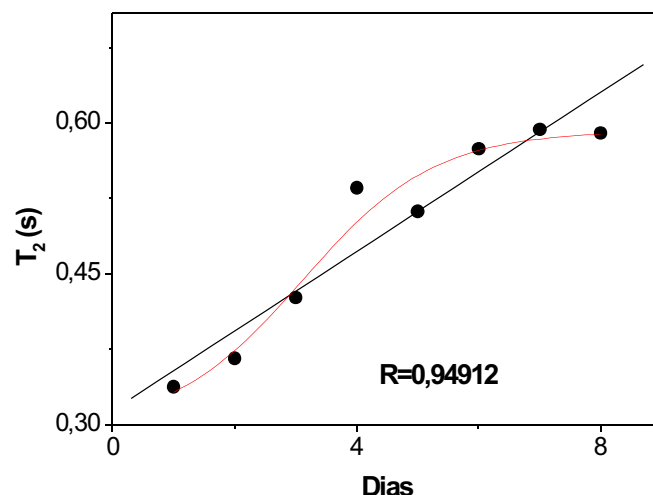


Fig. 4 - Correlação dos tempos de relaxação  $T_2$  versus os dias de análises, com ajuste linear (preto) e sigmoidal (vermelho). O ajuste sigmoidal foi melhor pois as bananas apresentam um início de maturação lento, que acelera e depois volta a ficar lento novamente.

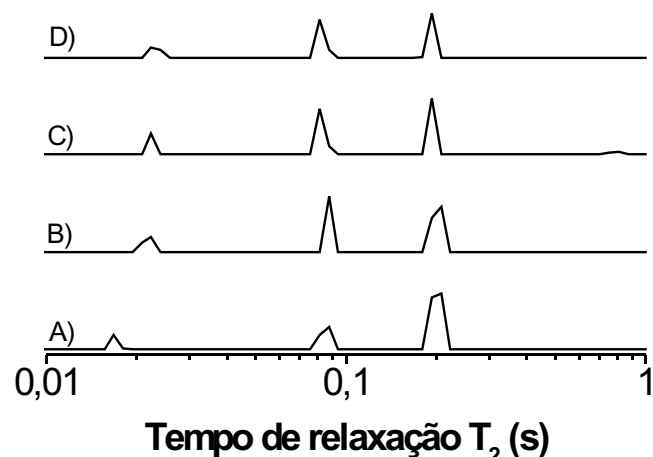


Fig. 5 - Efeito do amassamento no  $T_2$  de bananas ouro em função do tempo. A) antes do amassamento; B) logo após o amassamento 1 a 5 minutos; C) após uma hora e D) após duas horas.

Para melhor entender esse deslocamento do sinal de relaxação frente ao amadurecimento e compressão, fez experimentos também com bananas que foram congeladas. Durante o congelamento, a água se cristalizava, rompendo as membranas intracelulares, e das organelas, fazendo com que os solutos inicialmente em diferentes ambientes (vacúolos, citoplasma e espaço intracelulares) se misturassem. Para isso congelou-se 5 bananas em um freezer a  $-20^\circ\text{C}$  por 24 horas. Em seguida, as bananas foram colocadas na temperatura das medidas ( $22^\circ\text{C}$ ) até atingir o equilíbrio térmico, aproximadamente 6 horas.

Na Fig. 6 estão os espectros médios de  $T_2$  de 5 amostras, onde se pode ver que o sinal com grande área (75%) em torno de 0,2 s, presente nas bananas intactas (A) quase desapareceu com o congelamento (B), decaindo

para cerca de (5%). Os outros dois sinais em torno de 0,08s e 0,02 s, que antes do congelamento correspondiam a 20 e 5% passaram para 60 e 45% respectivamente.

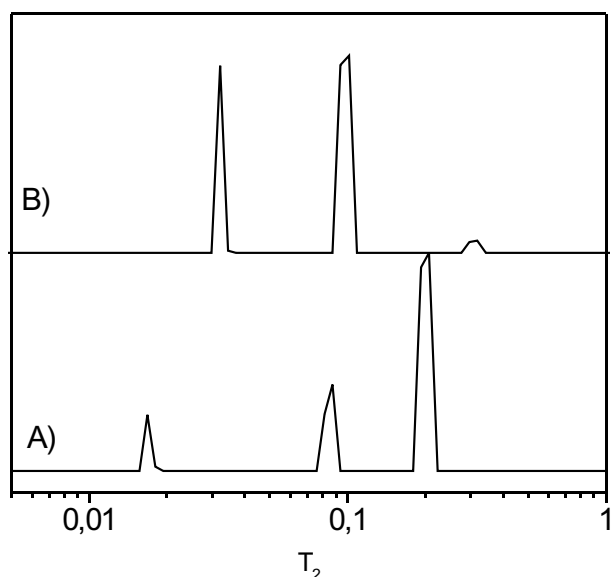


Fig. 6 - Relaxograma (dados de CPMG) de 5 bananas antes de congelar (A) e após congelamento(B).

Essas mudanças de concentração e dos tempos de relaxação dos dois sinais com menor e maior  $T_2$ , podem ser explicados pela mistura da água de todos os componentes celulares. Com o rompimento das membranas, a solução que antes está restrita ao vacúolo, agora se misturou a do citoplasma e outros componentes. Assim o sinal relativo a água do vacúolo foi

reduzida e conseqüente aumento dos outros dois componentes. Pelos resultados pode-se ver que o aumento do sinal relativo á água que estava no citoplasma não sofreu alteração significativa do valor de  $T_2$ , pois á água do vacúolo ao se misturar com a do citoplasma entrou em contato com macromoléculas e outras estruturas de grande porte, ficando parecida com a do citoplasma. Já no caso do sinal de menor tempo de relaxação a presença de maior quantidade de água levou à um maior tempo de relaxação, pois a água do vacúolo e o seu tempo  $T_2$  eram bem maiores do que o observado inicialmente para esse sinal.

A injúria mecânica (amassamento) é muito comum em bananas durante a estocagem e transporte, onde as bananas são comprimidas umas contra as outras, ou até por quedas. A injúria por baixa temperatura é menos comum, mas pode ocorrer em sistema de resfriamento não ideal, onde a transferência de calor não é bem controlada.

O amassamento não altera rapidamente os valores de  $T_2$ , mas causa uma alteração das proporções de água entre os compartimentos celulares. Uma das possíveis aplicações praticas dessa metodologia poderá ser um método rápido de avaliação de impactos mecânicos em bananas e outras frutas de maneira não invasiva e muito mais rápido (alguns segundos) e de menor custo que as obtidas com tomografia por RMN, que pode demorar até dezenas de minutos por amostra.

#### Referência

RAFFO, A.; GIANFERRI, R.; BARBIERI, R.; BROSIO, E. Ripening of banana Fruit monitored by water relaxation and diffusion  $^1\text{H}$  NMR measurements. **Food Chemistry**, London, v. 89, p. 149-158, 2005.

#### Comunicado Técnico, 84

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Instrumentação Agropecuária**  
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741  
CEP 13560-970 - São Carlos-SP

**Fone:** 16 3374 2477

**Fax:** 16 3372 5958

**E-mail:** sac@cnpdia.embrapa.br

www.cnpdia.embrapa.br

**1a. edição**

1a. impressão 2007: tiragem 300

#### Comitê de Publicações

**Presidente:** Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz

**Membros:** Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,

Dr. João de Mendonça Naime,

Dr. Washington Luiz de Barros Melo

Valéria de Fátima Cardoso

**Membro Suplente:** Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

#### Expediente

**Revisor editorial:** Dr. Victor Bertucci Neto

**Normalização bibliográfica:** Valéria de Fátima Cardoso

**Tratamento das ilustrações:** Valentim Monzane

**Editoração eletrônica:** Valentim Monzane